



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 10 234 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 82 B 3/00**  
G 03 F 7/00

②① Aktenzeichen: 101 10 234.8  
②② Anmeldetag: 2. 3. 2001  
④③ Offenlegungstag: 5. 9. 2002

DE 101 10 234 A 1

⑦① Anmelder:  
Forschungszentrum Jülich GmbH, 52428 Jülich, DE

⑦② Erfinder:  
Kluth, Patrick, 40227 Düsseldorf, DE; Zhao,  
Qing-Tai, Dr., 52428 Jülich, DE; Mantl, Siegfried,  
Prof. Dr., 52428 Jülich, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Verfahren zur Herstellung von Strukturen im Nanometerbereich

⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung von Strukturen und insbesondere Drähten im Nanometerbereich aus einer zu strukturierenden Schicht. Die zu strukturierende Schicht ist zwischen einem Substrat und einer Maskenstruktur, die auf der zu strukturierenden Schicht gebildet wird, angeordnet. Die Maskenstruktur erzeugt an ihren Kanten ein elastisches Spannungsfeld in der strukturierenden Schicht und im Substrat. Das Verfahren ist gekennzeichnet durch die Schritte:

- maskierte Bereiche der zu strukturierenden Schicht werden von nicht maskierten Bereichen zur Bildung einer ersten Struktur voneinander getrennt,
- die elastische Spannung wird lateral zur Oberfläche der zu strukturierenden Schicht verschoben,
- Bereiche der zu strukturierenden Schicht werden durch eine spannungsabhängige Diffusion zur Bildung einer zweiten Struktur voneinander getrennt.

Auf diese Weise lassen sich unter Verwendung weiterer lokal aufgetragener Schutzschichten Strukturen und insbesondere Drähte mit einer Breite von 10-500 nm herstellen. Diese können für elektronische Bauelemente, z. B. in der Halbleiter-Technologie, verwendet werden.

DE 101 10 234 A 1

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Strukturen im Nanometerbereich und deren Nutzen für elektronische Bauelemente.

[0002] Zur Herstellung von Strukturen im Nanometerbereich wird im Stand der Technik unter anderem die optische Lithographie eingesetzt. Dabei wird mit Hilfe der Maskentechnik beleuchtungsunterstützt die gewünschte Struktur auf einen photoempfindlichen Lack übertragen, welcher dann als Maske für die Herstellung der eigentlichen Struktur dient. Diese konventionelle optische Lithographie erlaubt eine Auflösung von bis zu 130 nm. Verfahren mit noch besserer Auflösung, wie die Röntgenstrahlolithographie, die Elektronenstrahlolithographie oder die deep-UV-Lithographie sind bisher nur im Labormaßstab möglich und erfordern einen hohen technischen Aufwand mit hohen Kosten (R. Kassing, R. Käsmier, I. W. Rangelow, Lithographie der nächsten Generation. Physikalische Blätter, Vol. 56, Nr. 2, 31ff).

[0003] In der Mikroelektronik stellt die Erzeugung von Strukturen im Nanometerbereich, wie z. B. dünnen Drähten aus reinen Metallen oder Siliziden, eine große Herausforderung dar. Solche Strukturen können als Kontaktmaterialien und Verbindungsleitungen für elektronische Bauelemente dienen. Insbesondere die Strukturierung von Kobaltdisilizid, eines der wichtigsten Kontaktmaterialien der Chiptechnologie, gestaltet sich schwierig, da hierfür keine standardisierten Ätzprozesse existieren.

[0004] Neben der Funktion als Kontakt- und Verbindungsmaterialien können solche Strukturen auch als Maske, z. B. in Ätzverfahren zur Erzeugung dreidimensionaler Strukturen, in einem darunter liegenden Substrat oder weiteren zu strukturierenden Schichten verwendet werden. In der Siliziumtechnologie stellen solche Strukturen eine wesentliche Grundlage für die Herstellung vertikaler Doppel-Gate MOSFETs dar. Solche MOSFETs sind aussichtsreiche Bauelemente zur Miniaturisierung von Transistoren und für die Überwindung der damit verbundenen technischen Probleme (L. Risch, 2000. The end of the roadmap – new landscape beyond. The 13<sup>th</sup> Japan-Germany Forum on Information Technology, Proceedings-Band, 11(2)-1).

[0005] Nachteilig ist die Übertragung von im Photolack erzeugten Strukturen auf die darunter liegenden Schichten abhängig von den Eigenschaften der zu strukturierenden Materialien. Daher möchte man Verfahren zur Strukturierung entwickeln, die auf selbstjustierenden Prozessen beruhen.

[0006] Aus DE 195 03 641 A1 ist ein Verfahren zur Strukturierung von Silizidschichten bekannt, welches auf der lokalen Oxidation von Siliziden beruht. Hierbei wird durch einen selbstjustierenden Prozeß z. B. eine Kobaltdisilizidschicht in zwei Bereiche aufgetrennt.

[0007] Aus DE 198 53 023 A1 ist ein Verfahren zur Herstellung einer Sub-Mikrometerstruktur aufweisenden Schicht auf einem Substrat bekannt. Dabei wird auf dem Substrat eine Schicht gebildet. Es werden Mittel zur Ausbildung elastischer Spannungen an wenigstens einer vorgegebenen Position dieser Schicht gebildet und sodann die Schicht selbstjustierend an dieser Position durch spannungsabhängige Diffusion getrennt. Die Diffusion kann im Rahmen einer Festkörperreaktion erfolgen. Die Diffusion betrifft dabei Bereiche aus einer zu strukturierenden Schicht. Die Trennung der zu strukturierenden Schicht erfolgt in einem selbstjustierenden Prozeß entlang einer Maskenkante.

[0008] Nachteilig kann mit den im Stand der Technik bekannten Verfahren nur eine Trennung von Schichten in unterschiedliche Bereiche erfolgen. Darüber hinausgehende,

z. B. erhabene Strukturen mit Breiten von kleiner als 130 nm lassen sich nicht erzeugen.

[0009] Aufgabe der Erfindung ist daher ein Verfahren anzugehen, daß die im Stand der Technik auftretenden Nachteile nicht aufweist. Aufgabe der Erfindung ist weiterhin, elektronische Bauteile mit entsprechenden Strukturen bereitzustellen.

[0010] Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1, eine Schichtstruktur gemäß Anspruch 17 sowie ein elektronisches Bauelement gemäß Anspruch 19. Vorteilhaft Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den darauf rückbezogenen Ansprüchen hervor.

[0011] Gemäß kennzeichnendem Teil von Anspruch 1 ist das Verfahren durch folgende Schritte gekennzeichnet:

- maskierte Bereiche einer zu strukturierenden Schicht werden von nicht maskierten Bereichen zur Bildung einer ersten Struktur voneinander getrennt,
- eine elastische Spannung wird lateral zur Oberfläche der zu strukturierenden Schicht verschoben,
- Bereiche der zu strukturierenden Schicht werden durch eine spannungsabhängige Diffusion zur Bildung einer zweiten Struktur voneinander getrennt.

[0012] Es wird zunächst eine zu strukturierende Schicht auf einem Substrat gebildet. Dann werden auf diese eine oder mehrere Schichten aufgebracht, welche zu einer Maske strukturiert werden. In der Maskenstruktur entstehen auf Grund des Kristallaufbaus der aufgetragenen Schichten intrinsische Spannungen. Mindestens eine Schicht in der Maskenstruktur erzeugt daher an ihren Kanten eine elastische Spannung, welche auf die darunter liegenden, zu strukturierenden Schichten eine mechanische Kraft ausübt.

[0013] Die Herstellung der ersten Struktur erfolgt entlang der Maskenkante. Dabei werden die nicht maskierten Bereiche der zu strukturierenden Schicht von den von der Maske verdeckten Teilen getrennt. Dies dient der Festlegung einer ersten seitlichen Begrenzung der zu bildenden Struktur.

[0014] Anschließend wird die elastische Spannung lateral und über eine kontrollierte Länge über einen zu strukturierenden Bereich der darunter liegenden, zu strukturierenden Schicht verschoben. Dies wird durch eine Modifikation der Maskenstruktur, z. B. durch Entfernen von Teilen der Maskenstruktur erreicht. Die elastische Spannung wird an eine Position verschoben, an der innerhalb der zu strukturierenden Schicht eine weitere Auftrennung erfolgen soll. Lateral bezieht sich somit auf eine Orientierung, die horizontal zur Oberfläche der zu strukturierenden Schicht gerichtet ist.

[0015] In einem abschließenden Verfahrensschritt erfolgt eine spannungsabhängige Diffusion, durch den Bereiche der zu strukturierenden Schicht ein zweites Mal getrennt werden. Hierdurch wird eine zweite seitliche Begrenzung der zu bildenden Struktur festgelegt. Die Breite der Struktur ist nicht durch die Abmessungen der Maske, sondern durch Verschieben der elastischen Spannung über eine kontrollierte Länge und abschließender spannungsabhängiger Diffusion bestimmt.

[0016] Diese Verfahrensschritte können sich anschließend zur Bildung weiterer Strukturen wiederholen.

[0017] Das Verfahren ist geeignet zur Herstellung von Strukturen mit einer Breite in einer Größenordnung von 10 nm bis zu 500 nm.

[0018] Das Verfahren ist besonders geeignet, linienförmige Strukturen, z. B. Drähte, herzustellen, die eine Breite in einer Größenordnung von 10 nm bis zu 500 nm aufweisen.

[0019] Vorteilhaft umfaßt die laterale Verschiebung der elastischen Spannung einen Ätzprozeß.

[0020] Es kann z. B. ein naßchemischer Ätzprozeß angewendet werden. Hierdurch können auf besonders einfache Weise gezielt Teile der Maskenstruktur auf Grund ihrer Materialeigenschaften, z. B. durch Säuren, entfernt werden. Die elastische Spannung wird dabei entlang der sich durch den Ätzprozeß verändernden Maskenkannten in Ätzrichtung verschoben. Dabei kann entweder die spannungserzeugende Schicht selbst oder auch eine weitere Zwischenschicht, die die elastische Spannung auf die darunter liegende, zu strukturierende Schicht überträgt, zurückgeätzt werden.

[0021] Als Trockenchemischer Prozeß ist das reaktive Ionätzen anwendbar. Dieses Verfahren weist den Vorteil auf, daß Ätzprozesse reproduzierbar und anisotrop erfolgen.

[0022] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfaßt die spannungsabhängige Diffusion Tempern, eine lokale Oxidation und/oder eine spezifische Legierungsbildung.

[0023] Die spannungsabhängige Diffusion kann durch Tempern bei geeigneten Parametern für die verwendeten Materialien ausgelöst werden. Die Temperatur und Zeitdauer sollte dafür eine geeignete Diffusionslänge für das Material der zu strukturierenden Schicht hervorrufen.

[0024] Im Falle von Siliziden bietet sich eine lokale Oxidation in sauerstoffhaltiger Atmosphäre, z. B. bei 800–1000°C an. Durch Diffusion werden Bereiche in der zu strukturierenden Schicht voneinander getrennt.

[0025] Die Bildung spezifischer Silizide durch Aufbringen von Metallen, insbesondere Cobalt, Titan und Nickel, auf ein Siliziumsubstrat kann bei geeigneten Temperaturen ebenfalls eine Trennung der zu strukturierenden Schicht durch spezifische Legierungsbildung hervorrufen. Es entstehen entsprechende metallische Mono- oder Di-Silizide.

[0026] In besonders vorteilhafter Weise umfaßt die Bildung der ersten Struktur in der zu strukturierenden Schicht eine spannungsabhängige Diffusion.

[0027] Auf diese Weise erreicht man, daß beide Strukturierungen entlang der Kante einer Maskenstruktur selbstjustierend sind.

[0028] Die zu strukturierende Schicht enthält vorteilhaft mindestens ein Metall, und zwar insbesondere Co, Ti, Ni, Pd, Pt, W, Ta oder Nb bzw. deren Silizide.

[0029] Diese Metalle stellen auf Grund ihrer guten elektrischen Leitfähigkeit geeignete Materialien für Kontakte oder Verbindungsleitungen von elektronischen Bauteilen dar, wobei die entsprechenden Silizide in der Siliziumtechnologie wegen ihrer hohen Kompatibilität zu Silizium besonders vorteilhaft sind.

[0030] Als Material für die zu strukturierende Schicht ist insbesondere  $\text{CoSi}_2$  geeignet.

[0031]  $\text{CoSi}_2$  ist für die Halbleitertechnologie sehr bedeutsam. Es kann zudem in einer Weise strukturiert werden, daß Strukturen mit einer Breite von 50 Nanometer und weniger hergestellt werden.

[0032] Als Materialien zur Bildung der Maskenstruktur kann insbesondere  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Si}_3\text{N}_4$  angewendet werden.

[0033] In vorteilhafter Weise lassen sich sowohl  $\text{SiO}_2$  als auch  $\text{Si}_3\text{N}_4$  durch Ätzprozesse leicht strukturieren, wodurch die elastische Spannung verschoben wird. Die Verbindungen können in der Maske beispielsweise als Schichten vorliegen.  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ist besonders vorteilhaft, da es auf Grund seiner intrinsischen Eigenschaften die gewünschten elastischen Spannungen erzeugt.

[0034] Besonders vorteilhaft umfaßt die Maskenstruktur eine  $\text{SiO}_2$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schichtenfolge oder eine  $\text{SiO}_2$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ - $\text{SiO}_2$ -Schichtenfolge.

[0035] In beiden genannten Schichtenfolgen dient dabei die jeweils letztgenannte Schicht, also die  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schicht bzw. eine  $\text{SiO}_2$ -Schicht unter anderem als Deckschicht, die

eine Strukturierung der darunter liegenden Maskenschicht in vertikaler Richtung verhindert. Die  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schicht ist dabei jeweils die spannungserzeugende Schicht.

[0036] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ist eine weitere lokal angebrachte Schutzschicht auf der zu strukturierenden Schicht aufgebracht.

[0037] Während des ersten und/oder zweiten Strukturierungsprozesses können Bereiche der zu strukturierenden Schicht mit einer weiteren nicht spannungserzeugenden Schicht abgedeckt werden, wodurch diese Bereiche erhalten bleiben.

[0038] Die Schutzschicht kann weiterhin auch Bereiche der Maskenstruktur abdecken.

[0039] In diesen Bereichen wird somit verhindert, daß die elastische Spannung verschoben wird.

[0040] Dabei kann insbesondere Photolack als Schutzschicht bei Prozessen ohne Temperung verwendet werden. Photolack ist preiswert und in einfacher Weise auf die zu strukturierende Schicht bzw. auf die Maske auftragbar.

[0041] Für Prozesse, die eine Temperung umfassen, ist  $\text{SiO}_2$  als Schutzschicht geeignet, da es nur kleine elastische Spannungen erzeugt.

[0042] Auf diese Weise werden Drähte mit Kontaktflächen erzeugt.

[0043] Die Maskenstruktur kann anschließend entfernt werden. Die freigelegte, strukturierte Schicht kann als Maske für eine Strukturierung des darunter liegenden Substrates oder weiterer Schichten verwendet werden.

[0044] Durch das erfindungsgemäße Verfahren erzeugte Strukturen können somit z. B. im Bereich der Nanoelektronik zur Bildung von Bauelementen und Bauelementverbindungen sowie zur Herstellung von Masken für die Nanostrukturierung Einsatz finden.

[0045] Ein elektronisches Bauelement, welches eine durch das erfindungsgemäße Verfahren gebildete Struktur, z. B. in Form von Leiterbahnen, dünnen Drähten oder Kontakten aufweist, weist damit alle Vorteile der gebildeten Strukturen oder Drähte auf.

[0046] Für ein Silizium Doppel-Gate MOSFET-Bauelement können die hergestellten Strukturen sowohl als Ätzmaske, als auch als Source- bzw. Drainkontakt verwendet werden.

[0047] Im Ergebnis erlaubt das erfindungsgemäße Verfahren die Erzeugung extrem dünner Drähte mit Breiten von 50 nm und weniger ohne aufwendige lithographische Prozesse. Die Breite ist im wesentlichen abhängig von der kontrollierten räumlichen Verschiebung der elastischen Spannung entlang der Oberfläche der zu strukturierenden Schicht. Weiterhin ist die Breite von der Schichtdicke und dem Material der zu strukturierenden Schicht sowie den Prozeßparametern für den oder die selbstjustierenden Prozesse, wie Maskenaufbau und z. B. thermische Behandlung, abhängig. Die Kombination mit lokal aufgetragenen Schutzschichten erlaubt die Verbindung der Drähte mit größeren Strukturen z. B. unter Verwendung der optischen Lithographie.

[0048] Die Vorteile des Verfahrens liegen in der Möglichkeit der Erzeugung dünner Drähte mit Dimensionen jenseits der Auflösungsgrenze der optischen Lithographie, wie sie industriell angewandt wird. Zudem beinhaltet das Verfahren technologisch einfache Prozesse und daher sehr gute Reproduzierbarkeit. Darüber hinaus bietet das Verfahren bezüglich der zu erzeugenden Strukturen sowie durch weitreichende Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Schutzschichten, Masken und Strukturierungsprozesse ein hohes Maß an Flexibilität.

[0049] Die Erfindung wird im weiteren anhand der beigegebenen Figuren und dreier Ausführungsbeispiele näher er-

läutert.

[0050] Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch ein Substrat 1, auf dessen Oberfläche eine zu strukturierende Schicht 2 und eine Maskenstruktur 3 aufgebracht wurden. Die Maskenstruktur wurde mit herkömmlicher Lithographie strukturiert.

[0051] Fig. 2 zeigt die zu Fig. 1 gehörige Aufsicht mit zwei lokal aufgetragenen Schutzschichten 4.

[0052] Fig. 3 zeigt einen Querschnitt der Anordnung aus den nicht von den Schutzschichten 4 bedeckten Bereichen, nachdem die zu strukturierende Schicht 2 zur Bildung einer ersten Struktur bis auf die von der Maskenstruktur 3 und den Schutzschichten 4 geschützten Bereiche entfernt wurde.

[0053] Fig. 4 zeigt einen Querschnitt der Anordnung nach einem selektiven Ätzprozeß, durch den Teile der Schicht 3b aus der Maskenstruktur 3 entfernt wurden.

[0054] Fig. 5 zeigt einen Querschnitt der Anordnung nach Bildung einer zweiten Struktur durch eine spannungsabhängige Diffusion. Die Breite des Drahtes 2b wird durch beide Strukturierungen festgelegt. Neben Draht 2b entsteht eine Lücke 1a.

[0055] Fig. 6 zeigt die zum Querschnitt aus Fig. 5 gehörige Aufsicht nach Entfernen der Maskenschichten 3a-c. Durch die aufgetragenen Schutzschichten 4 ist der entstandene Draht 2b mit zwei Teilen der zu strukturierenden Schicht 2 an diesen Stellen verbunden geblieben.

[0056] Fig. 7 zeigt einen Querschnitt durch ein Substrat 11 eines zweiten Ausführungsbeispiels. Auf dessen Oberfläche ist die zu strukturierende Schicht 12 und die Maskenstruktur 13 aufgebracht. Die Maskenstruktur wurde mit herkömmlicher Lithographie strukturiert.

[0057] Fig. 8 zeigt einen Querschnitt der Anordnung, nachdem maskierte Bereiche 12a der zu strukturierenden Schicht von nicht maskierten Bereichen 12b zur Bildung einer ersten Struktur durch spannungsabhängige Diffusion voneinander getrennt wurden. Die Trennung erfolgte selbstjustierend entlang der Maskenkante. In der zu strukturierenden Schicht entsteht eine Lücke 11a.

[0058] Fig. 9 zeigt einen Querschnitt der Anordnung nach einem selektiven Ätzprozeß, wodurch Teile der Schicht 13a aus der Maskenstruktur 13 entfernt wurden.

[0059] Fig. 10 zeigt eine zu Fig. 9 gehörige Aufsicht auf die Schicht 13a mit einer an einer Seite aufgetragenen Schutzschicht 14. Hierdurch wird an dieser Stelle das Zurückätzen verhindert.

[0060] Fig. 11 zeigt einen Querschnitt aus Fig. 10 nach Bildung der zweiten Struktur durch eine spannungsabhängige Diffusion. Neben Draht 12c entsteht eine weitere Lücke 11b.

[0061] Fig. 12 zeigt die zu Fig. 11 gehörige Aufsicht nach Entfernen der Maskenschichten 13a-b. Durch die aufgetragene Schutzschicht 14 ist an dieser Stelle der entstandene Draht 12c mit der Schicht 12a verbunden geblieben.

[0062] Fig. 13 zeigt einen Querschnitt der Anordnung aus dem nicht von der Schutzschicht 14 bedeckten Bereich nach Entfernen der Maskenstruktur 13 und Ätzen des Substrates 11 in den Bereichen der Lücken 11a und 11b. Unter dem Draht 12c entsteht ein Substratsteg 11c.

[0063] Fig. 14 zeigt den Querschnitt einer Grundstruktur eines vertikalen Doppel-Gate-Schottky-Drain MOSFETs, wie er mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt werden kann.

[0064] Gemäß eines ersten Ausführungsbeispiels wird eine 20-30 nm dicke Kobaltdisilizidschicht epitaktisch als zu strukturierende Schicht 2 auf ein Siliziumsubstrat 1 aufgebracht. Danach wird eine Maskenstruktur 3, bestehend aus einer 20 nm dicken  $\text{SiO}_2$ -Schicht 3a, einer 400 nm dicken  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schicht 3b und wiederum einer weiteren 20 nm dicken  $\text{SiO}_2$ -Schicht 3c abgeschieden und mit Hilfe kon-

ventioneller optischer Lithographie strukturiert (Fig. 1). An den Kanten der so entstandenen Maskenstruktur 3 entsteht durch die intrinsische Spannung in der Nitridschicht 3b eine elastische Spannung in der darunter liegenden Schicht 3a sowie in der zu strukturierenden Schicht 2 und im Substrat 1. Nun werden zwei wiederum mit herkömmlicher optischer Lithographie strukturierte Photolackschutzschichten 4 aufgebracht (Fig. 2). Diese dienen zur Erzeugung von Kontakten zum später entstehenden Draht in der zu strukturierenden Schicht 2. Durch Plasmaätzen werden die Bereiche der zu strukturierenden Kobaltdisilizidschicht 2 entfernt, welche nicht von der Maskenstruktur 3 oder den Photolackschutzschichten 4 bedeckt sind (Fig. 3). Dann werden die Photolackschutzschichten 4 entfernt und durch Wachsen eines thermischen Oxides bei niedrigen Temperaturen kann das freiliegende Silizid sowie die Siliziumoberfläche vor dem folgenden Ätzschritt geschützt werden. Die Oxidationstemperatur wird gewöhnlich unter 800°C, in jedem Fall aber so niedrig gewählt, daß eine Abtrennung der Kontaktbereiche von der Schicht durch lokale Oxidation nicht stattfindet. In dem nun folgenden Ätzschritt wird die Nitridschicht 3b mit einer Ätzlösung, z. B. mit einer Phosphorsäurelösung hoch selektiv zu dem dünnen Siliziumoxid kontrolliert lateral zurückgeätzt (Fig. 4). Damit verschiebt sich die von der Nitridschicht ausgeübte elastische Spannung in Richtung der Ätzung. Die Länge der Ätzung bestimmt die Breite des entstehenden Drahtes, wobei sie einige zehn Nanometer größer gewählt wird als der später entstehende Draht. Hieraus wird im weiteren Verlauf der Draht und eine entsprechende benachbarte Lücke gebildet. Die Deckschicht 3c verhindert bei diesem Schritt das Ätzen der Nitridschicht 3b in vertikaler Richtung. Im nächsten Schritt wird dann nach kurzem Spülen in Flußsäure zum Entfernen des Oxides die Struktur im Schnelltemperofen oxidiert, wobei sich auf Grund der anisotropen Diffusion in dem Spannungsfeld an den Kanten der zurückgeätzten Nitridschicht 3b die Silizidschicht 2 in eine Schicht 2a und in den abgetrennten Draht 2b aufteilt (Fig. 5). Die Aufsicht in Fig. 6 zeigt die entstandene Silizidstruktur nach Entfernen der Maskenstruktur 3. Der von der zu strukturierenden Schicht 2 abgetrennte Draht 2b ist von einer Lücke 1a benachbart. Der Draht weist eine Breite von 50 Nanometern auf und ist mit den vorher von den Schichten 4 abgedeckten Silizidbereichen verbunden.

[0065] Gemäß eines zweiten Ausführungsbeispiels wird eine 20-30 nm dicke Kobaltdisilizidschicht 12 epitaktisch auf ein Siliziumsubstrat 11 aufgebracht. Danach wird eine Maskenstruktur 13, bestehend aus einer 20 nm dicken  $\text{SiO}_2$ -Schicht 13a und einer 400 nm dicken  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schicht 13b abgeschieden und mit Hilfe konventioneller optischer Lithographie strukturiert (Fig. 7). Als Ergebnis entsteht eine Schichtenfolge aus einem Substrat 11, einer darauf aufliegenden, zu strukturierenden Schicht 12 sowie einer Maskenstruktur 13. An den Kanten der Maskenstruktur entsteht durch die intrinsische Spannung in der Nitridschicht 13b eine elastische Spannung in den darunter liegenden Schichten 13a, 12 und im Substrat 11. Durch Oxidation im Schnelltemperofen wird die Schicht 12 entlang der Maskenkante aufgetrennt, bedingt durch die anisotrope Diffusion der Kobaltatome während der Oxidation des Kobaltdisilizides (Fig. 8). Die Breite der Lücke 11a und damit der Abstand der beiden getrennten Schichten 12a und 12b beträgt 100 nm. Im nächsten Schritt wird dann die Oxidschicht 13a selektiv zur Nitridschicht 13b naßchemisch zurückgeätzt (Fig. 9), wobei die Länge der Ätzung der Breite des zu strukturierenden Drahtes entspricht (50-200 nm). Dabei wird an einer Seite eine  $\text{SiO}_2$ -Schutzschicht 14 aufgebracht, um diesen Teil der Maskenstruktur 13 vor dem Ätzen sowie der späteren Oxidation zu schützen (Fig. 10). Durch das Zu-

rückätzen der  $\text{SiO}_2$ -Schicht 13a wird die elastische Spannung mit der Ätzung senkrecht zur ersten Strukturierung verschoben, da das Oxid 13a als Träger der spannungserzeugenden Nitridschicht 13b dient. Bei der folgenden Oxidation wird die zu strukturierende  $\text{CoSi}_2$ -Schicht entlang der neuen Oxidkante der Schicht 13a ein zweites Mal getrennt, so daß ein dünner Draht 12c entsteht (Fig. 11). Dieser Draht ist unter der Schutzschicht 14 mit der Schicht 12a verbunden. Fig. 12 zeigt eine Aufsicht der entstandenen  $\text{CoSi}_2$ -Struktur nach Entfernen der Maskenstruktur 13. Durch reaktives Ionenätzen in vertikaler Richtung, z. B. in einem  $\text{Ar}/\text{SF}_6$ -enthaltenden Plasma, kann mit Hilfe des Drahtes als Ätzmaske nun ein dünner Substratsteig 11c geätzt werden (Fig. 13).

[0066] Ein drittes Ausführungsbeispiel zeigt die Grundstruktur eines Doppel-Gate-Schottky-Drain MOSFETs, wie er in dem im zweiten Ausführungsbeispiel beschriebenen Strukturierungsverfahren hergestellt werden kann. Die Grundstruktur ist in Fig. 14 dargestellt. Dabei wird zunächst eine hochdotierte Schicht 26 auf einem Siliziumsubstrat 21 erzeugt. Dies kann mittels Ionenimplantation oder Epitaxieverfahren geschehen. Daraufhin wird epitaktisch eine Siliziumschicht als Kanalschicht 27 und die zu strukturierende Kobaldisilizidschicht 22 aufgebracht. Die Kanalschicht 27 kann dabei während der Epitaxie oder später durch Ionenimplantation moderat dotiert werden, so daß zwischen den Schichten 26 und der Kanalschicht 27 ein pn-Übergang entsteht und zwischen Kanalschicht 27 und zu strukturierender Schicht 22 ein Schottky-Kontakt. Danach wird die Schicht 22, wie im Ausführungsbeispiel 2, gemäß der Fig. 7-13 strukturiert und die Kanalschicht anschließend bis in die hochdotierte Schicht 26 geätzt. Der Siliziddraht 22c dient hierbei sowohl als Ätzmaske als auch als Schottky-Drain-Kontakt, der bereits mit einer Kontaktfläche verbunden ist. Nun wird ein Gateoxid 28 an den Seitenwänden des Siliziumsteges 27b erzeugt und ein Metall-Gate 29 angebracht. Dies stellt die Grundstruktur des MOSFETs dar. Die Kontaktierung von Gate und Source erfolgt durch Standardverfahren.

[0067] Alternativ kann an Stelle des Metall Gate 29 ein Polysilizium angebracht werden.

#### Patentansprüche

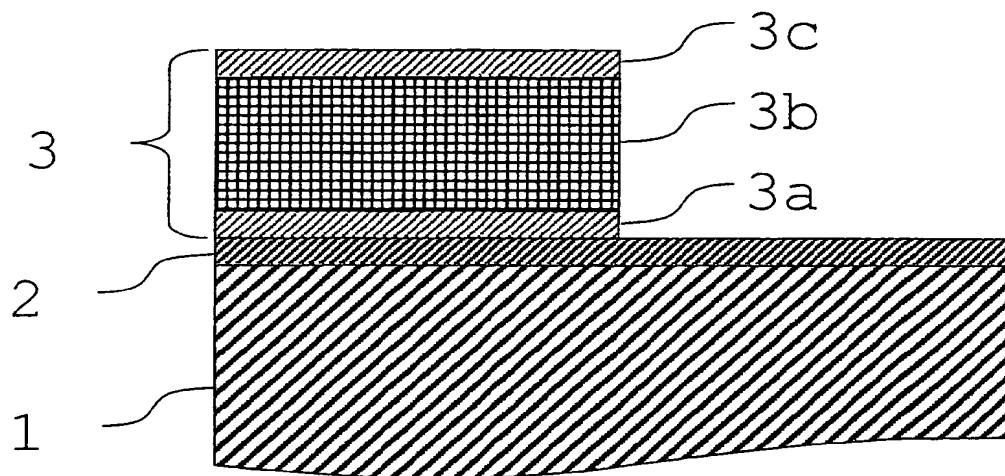
1. Verfahren zur Herstellung von Strukturen im Nanometerbereich aus einer zu strukturierenden Schicht (2, 12) auf einem Substrat (1, 11), wobei eine Maskenstruktur (3, 13) auf der zu strukturierenden Schicht (2, 12) gebildet wird und die Maskenstruktur (3, 13) an ihren Kanten eine elastische Spannung in der zu strukturierenden Schicht (2, 12) und im Substrat (1, 11) erzeugt, **gekennzeichnet durch** die Schritte: maskierte Bereiche der zu strukturierenden Schicht werden von nicht maskierten Bereichen zur Bildung einer ersten Struktur voneinander getrennt, eine elastische Spannung wird lateral zur Oberfläche der zu strukturierenden Schicht verschoben, Bereiche der zu strukturierenden Schicht werden durch eine spannungsabhängige Diffusion zur Bildung einer zweiten Struktur voneinander getrennt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die laterale Verschiebung der elastischen Spannung einen Ätzprozeß umfaßt.
3. Verfahren nach vorhergehendem Anspruch, gekennzeichnet durch einen naßchemischen Ätzprozeß.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die spannungsabhängige Diffusion Tempern, eine lokale Oxidation und/

oder eine spezifische Legierungsbildung umfaßt.

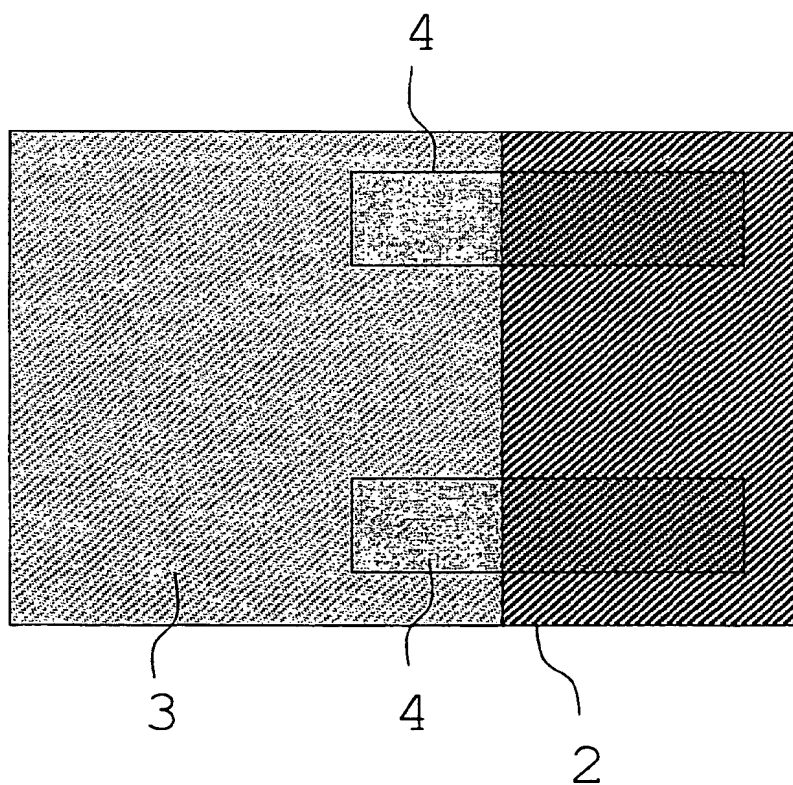
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildung der ersten Struktur in der zu strukturierenden Schicht (2, 12) eine spannungsabhängige Diffusion umfaßt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch mindestens ein Metall, insbesondere Co, Ti, Ni, Pd, Pt, W, Ta oder Nb bzw. deren Silizide als Material zur Bildung der zu strukturierenden Schicht (2, 12).
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch  $\text{CoSiO}_2$  als Material für die zu strukturierende Schicht (2, 12).
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Si}_3\text{N}_4$  als Materialien zur Bildung der Maskenstruktur (3, 13).
9. Verfahren nach Anspruch 8, umfassend eine  $\text{SiO}_2$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schichtenfolge für die Maskenstruktur (13).
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, gekennzeichnet durch das selektive Ätzen der  $\text{SiO}_2$ -Schicht (13a) in der Maskenstruktur (13).
11. Verfahren nach Anspruch 8, umfassend eine  $\text{SiO}_2$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$ - $\text{SiO}_2$ -Schichtenfolge für die Maskenstruktur (3).
12. Verfahren nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch das selektive Ätzen der  $\text{Si}_3\text{N}_4$ -Schicht (3b) in der Maskenstruktur (3).
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch lokal angebrachte Schutzschichten (4, 14).
14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem Photolack oder  $\text{SiO}_2$  als Schutzschicht (4, 14) verwendet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 oder 14, bei dem durch eine lokal angebrachte Schutzschicht (4, 14) das Strukturieren der zu strukturierenden Schicht (2, 12) während der ersten Strukturierung lokal verhindert wird.
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine derart strukturierte Schicht (2, 12) als Maske zur Bildung einer Struktur im darunter liegenden Substrat (1, 11) oder weiterer Schichten verwendet wird.
17. Schichtstruktur, hergestellt durch ein Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Strukturen mit einer Breite von 10-500 nm.
18. Schichtstruktur nach vorhergehendem Anspruch, gekennzeichnet durch Strukturen mit einer Breite von kleiner als 130 nm.
19. Elektronisches Bauelement, umfassend eine Schichtstruktur nach einem der Ansprüche 17 oder 18.
20. Doppel-Gate-Schottky-Drain MOSFET, umfassend eine Schichtstruktur nach einem der Ansprüche 17 oder 18.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

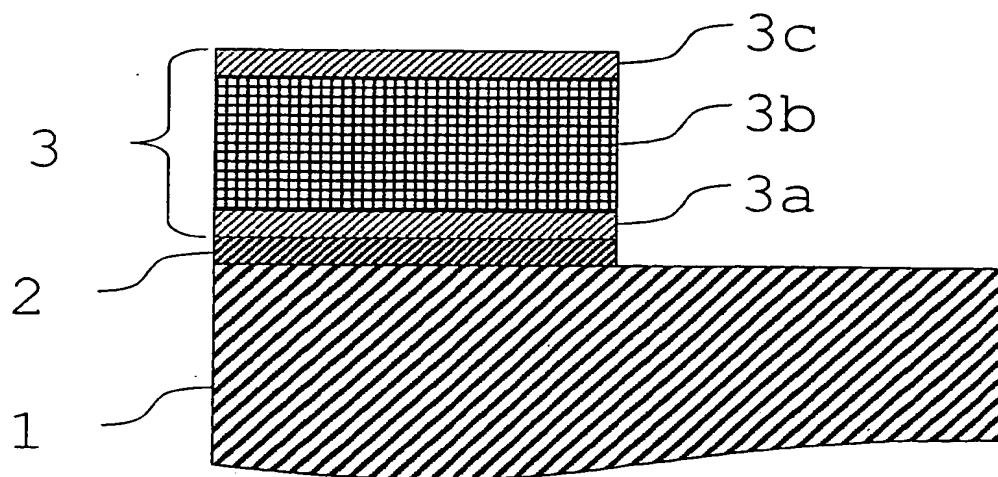
**Fig. 1**



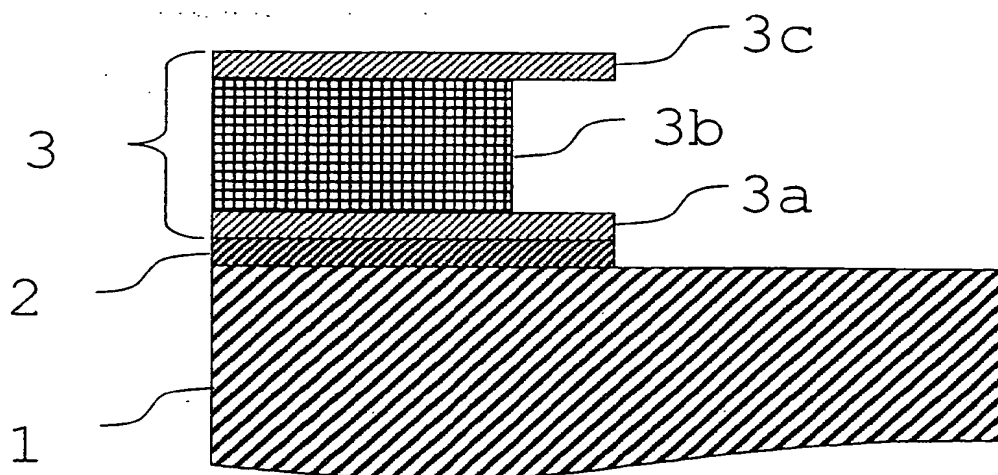
**Fig. 2**



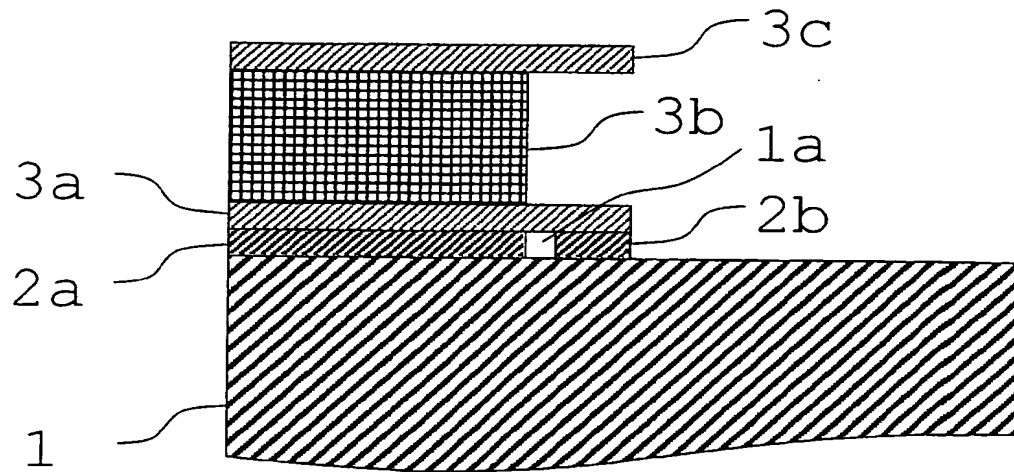
**Fig. 3**



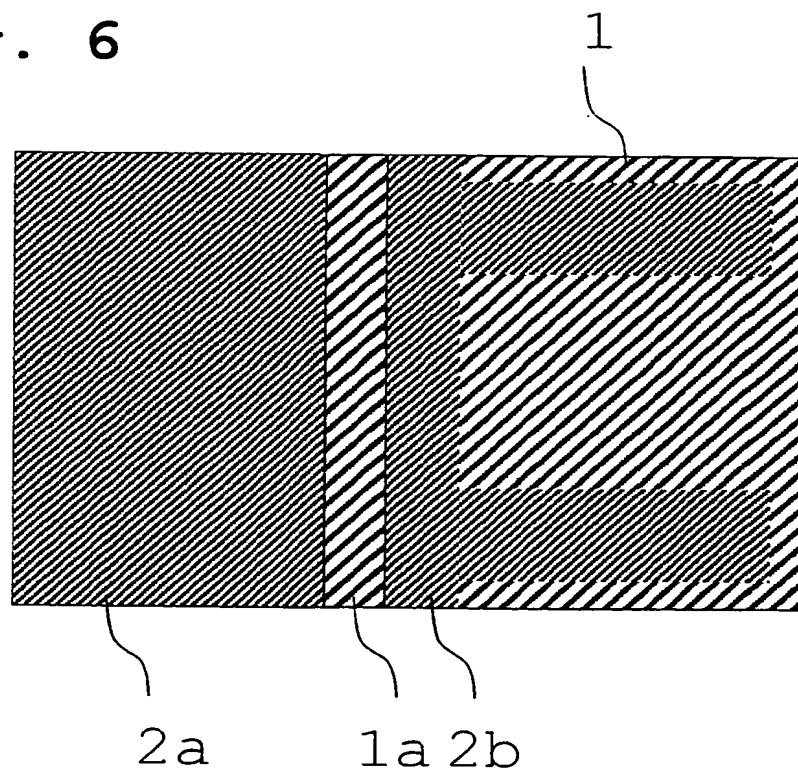
**Fig. 4**



**Fig. 5**

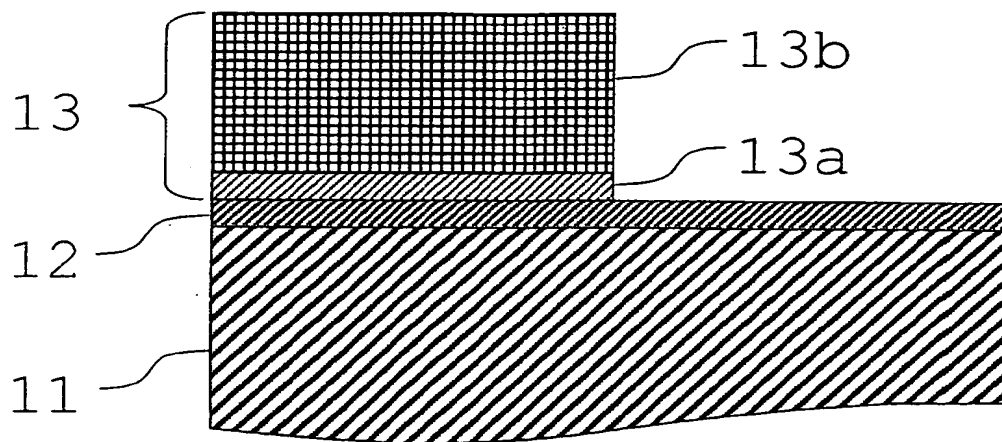


**Fig. 6**

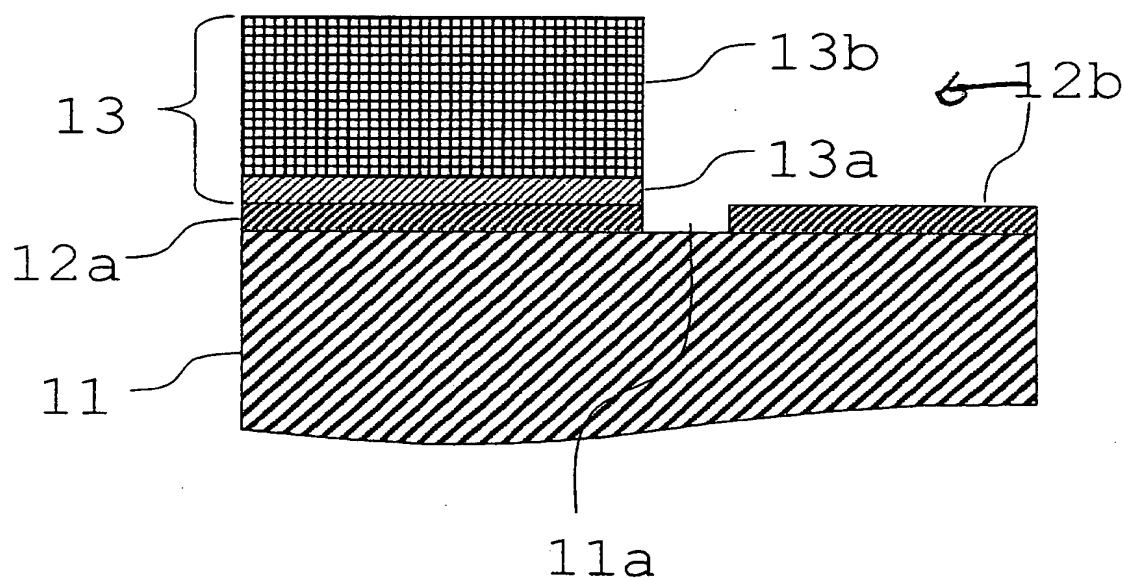




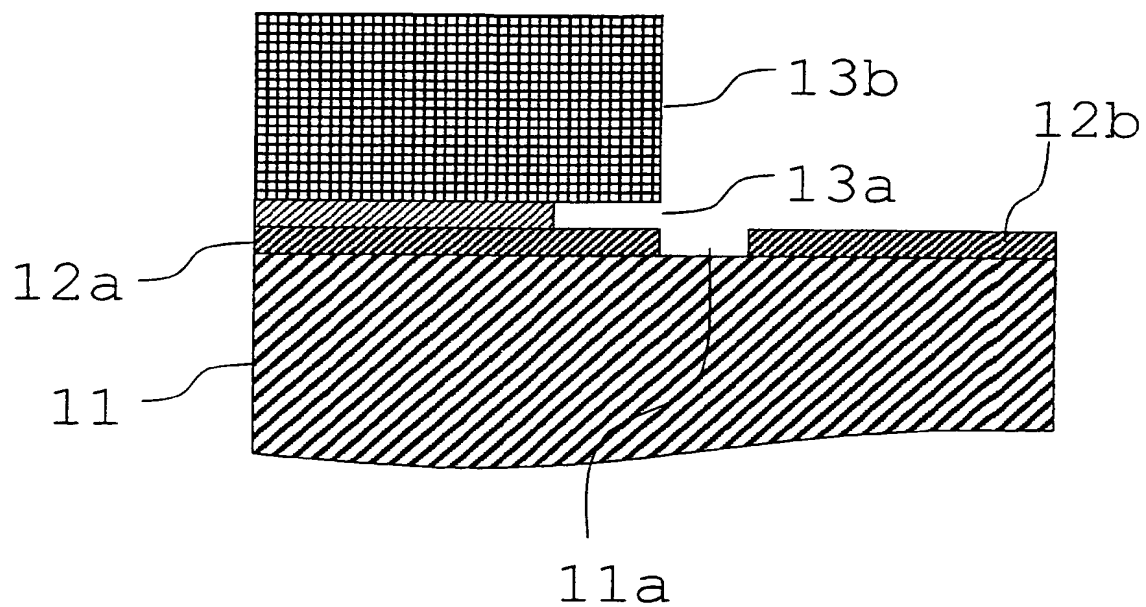
**Fig. 7**



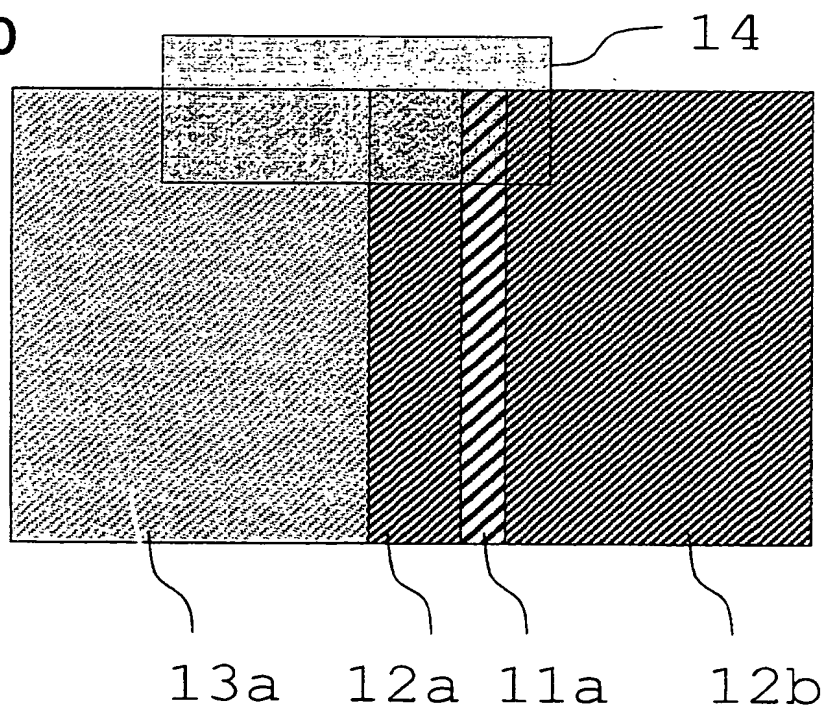
**Fig. 8**



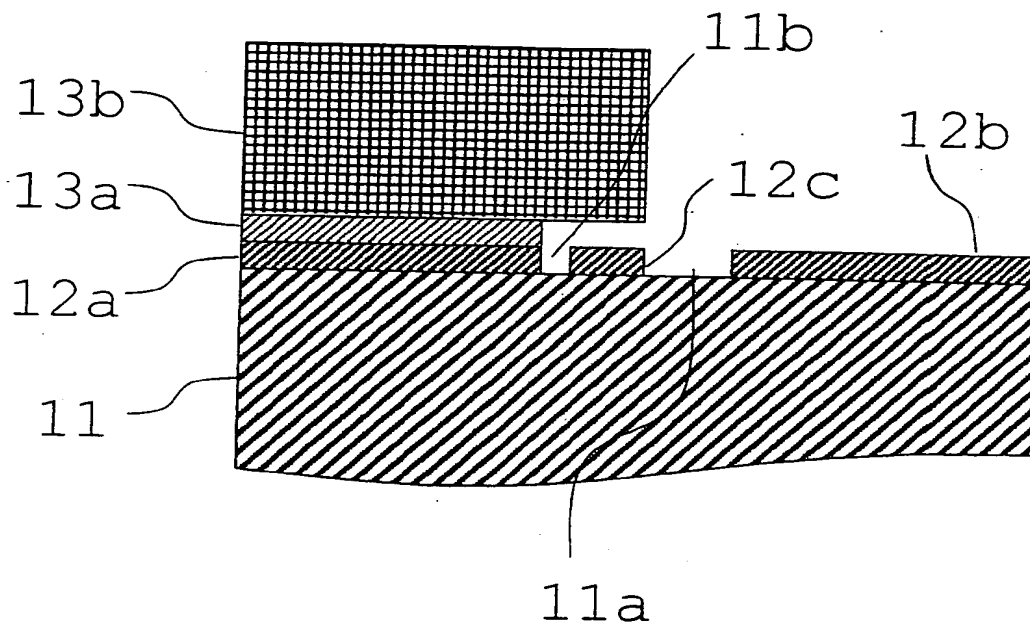
**Fig. 9**



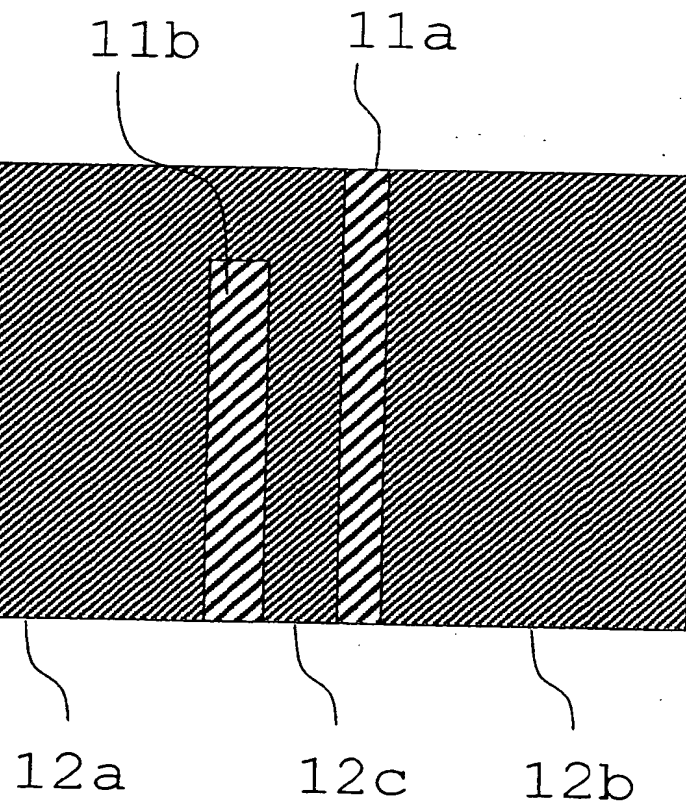
**Fig. 10**



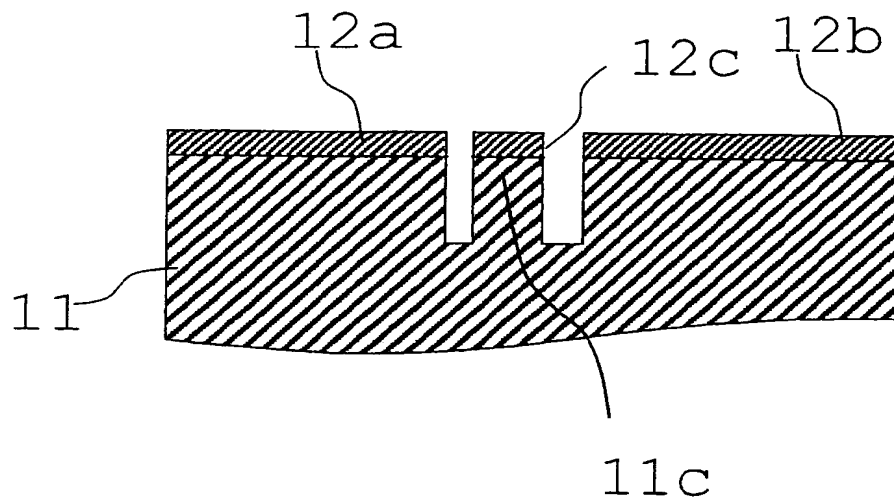
**Fig. 11**



**Fig. 12**



**Fig. 13**



**Fig. 14**

